

3. PERSYARATAN GEMPA RENCANA MENURUT TATA CARA PERENCANAAN KETAHANAN GEMPA UNTUK BANGUNAN GEDUNG, SNI 03-1726-2002

3.1. Umum

Pada bab ini akan dibahas mengenai standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung yang digunakan dalam studi ini, yaitu Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002. Pembahasan dibatasi pada faktor keutamaan bangunan, faktor daktilitas struktur, percepatan muka tanah, spektrum respons elastik, besar gempa dasar nominal, kekakuan struktur efektif, pembatasan waktu getar alami fundamental, analisis ragam spektrum respons, dan sekilas mengenai analisis dinamik non-linear riwayat waktu.

3.2. Gempa Rencana dan Kategori Gedung

Standar ini menentukan pengaruh Gempa Rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan struktur gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Akibat pengaruh Gempa Rencana, struktur gedung secara keseluruhan harus masih berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Gempa Rencana ditetapkan mempunyai periode ulang 500 tahun.

Bergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan struktur gedung selama umur gedung tersebut yang diharapkan, pengaruh Gempa Rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu Faktor Keutamaan I menurut persamaan:

$$I = I_1 I_2 \quad (3.1)$$

di mana I_1 adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung, sedangkan I_2 adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut. Faktor-faktor Keutamaan I_1 , I_2 , dan I ditetapkan menurut Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Faktor Keutamaan I untuk Berbagai Kategori Gedung

Kategori Gedung	Faktor Keutamaan		
	I ₁	I ₂	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan, dan perkantoran	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5
Catatan: Untuk semua struktur bangunan gedung yang ijin penggunaannya diterbitkan sebelum berlakunya standar ini, maka Faktor Keutamaan, I, dapat dikalikan 80%.			

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002

3.3. Pembebanan Gempa Nominal dan Daktilitas Struktur Gedung

Pembebanan gempa nominal yang harus ditinjau akibat beban gempa rencana harus disesuaikan dengan daktilitas struktur yang akan digunakan. Masing-masing tingkat daktilitas struktur mempunyai faktor reduksi gempa yang digunakan untuk mereduksi beban gempa rencana menjadi beban gempa nominal yang secara singkat dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Simbol R (pada Tabel 3.2.) merupakan faktor reduksi gempa, nilai R = 1,6 merupakan nilai tersebut adalah faktor reduksi gempa untuk struktur gedung yang berperilaku elastik penuh.

Tabel 3.2. Parameter Daktilitas Struktur Gedung

Taraf Kinerja Struktur Gedung	M	R = 1,6 μ
Elastik penuh	1,0	1,6
Daktil parsial	1,5	2,4
	2,0	3,2
	2,5	4,0
	3,0	4,8
	3,5	5,6
	4,0	6,4
	4,5	7,2
	5,0	8,0
Daktil penuh	5,3	8,5

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002

3.4. Percepatan Tanah Maksimum

Jika tidak dilakukan analisis khusus, percepatan tanah maksimum dapat ditentukan dari Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Percepatan Puncak Muka Tanah untuk Masing-Masing Wilayah Gempa Indonesia

Wilayah Gempa	Percepatan Puncak Batuan Dasar PBA ('g')	Percepatan Puncak Muka Tanah A ₀ PGA ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002

Dari Tabel 3.3 tampak bahwa wilayah gempa di Indonesia terbagi dalam 6 wilayah gempa, di mana wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan tingkat kegempaan paling rendah dan wilayah gempa 6 adalah wilayah dengan tingkat kegempaan paling tinggi. Pembagian wilayah gempa ini didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh Gempa Rencana dengan periode ulang 500 tahun. Percepatan puncak muka tanah adalah percepatan minimum yang harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur gedung. Percepatan respons maksimum dari masing-masing wilayah gempa adalah sebesar 2,5 kali dari percepatan puncak muka tanah.

3.5. Spektrum Respons Elastik

Spektrum Respons Elastik Gempa Rencana menurut konsep ini adalah spektrum percepatan $S_a(T)$, di mana T adalah waktu getar alami (detik). Spektrum Respons Elastik gempa rencana ini berbeda antara satu dengan lainnya, yaitu berdasarkan zona gempa dan jenis tanah. Spektrum Respons Elastik Gempa ini diperuntukkan bagi struktur dalam kondisi elastik ($R=1,6$, $\mu=1$) (Tabel 3.2.). Spektrum Respons Elastik Gempa Rencana $S_a(T)$ ini terdiri dari tiga bagian, yaitu:
Untuk $0 < T \leq 0,2$:

$$S_a(T) = A_0 + \frac{A_m - A_0}{A_0} T \quad (3.2)$$

Untuk $0,2 < T \leq T_c$ detik :

$$S_a(T) = A_m \quad (3.3)$$

Untuk $T > T_c$ detik :

$$S_a(T) = A_m / T \quad (3.4)$$

di mana:

T = Waktu getar alami bangunan (detik)

T_c = Waktu getar alami sudut, dari Tabel 3.4. (detik)

$S_a(T)$ = Spektrum percepatan sebagai fungsi dari T (x g)

A_0 = Percepatan puncak muka tanah (PGA) (x g)

A_m = Percepatan respons maksimum = 2,5 A_0 (x g)

Tabel 3.4. Nilai Waktu Getar Alami Sudut (T_c) untuk Berbagai Jenis Tanah

Jenis Tanah	T_c (detik)
Tanah Keras	0.50
Tanah Sedang	0.60
Tanah Lunak	1.00

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002

Menurut peta gempa Indonesia dalam Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002, Surabaya termasuk dalam wilayah 2. Untuk gempa dengan wilayah 2 dan kondisi tanah lunak, maka Spektrum Respons Elastik Gempa Rencana $S_a(T)$ menjadi:

Untuk $0 < T \leq 0.2$ detik :

$$S_a(T) = 0.2 + \frac{0.5 - 0.2}{0.2} T = 0.2 + 1.5 T \quad (3.5)$$

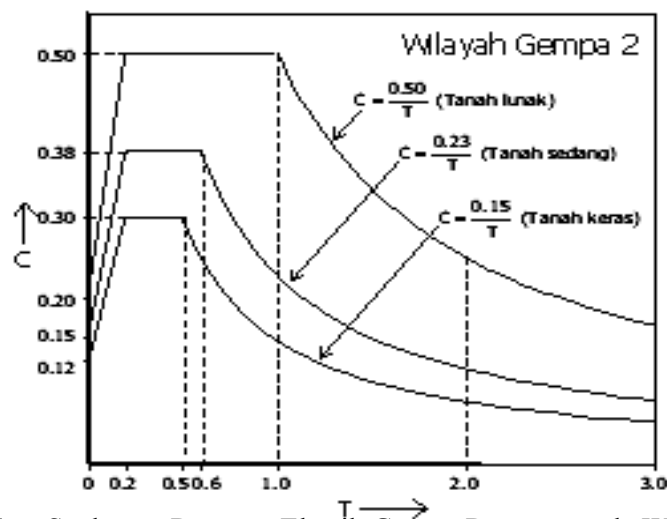
Untuk $0.2 < T \leq 1.0$ detik :

$$S_a(T) = A_m = 0.5 \quad (3.6)$$

Untuk $T > 1.0$ detik :

$$S_a(T) = A_m / T = 0.5 / T \quad (3.7)$$

Spektrum Respons Elastik tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Spektrum Respons Elastik Gempa Rencana pada Wilayah Dua

3.6. Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental T_1 dari struktur gedung harus dibatasi, bergantung pada koefisien ξ untuk Wilayah Gempa tempat struktur gedung berada dan jumlah tingkat bangunan (n) menurut Persamaan (3.8):

$$T_1 < \xi n \quad (3.8)$$

di mana koefisien ξ ditetapkan menurut Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Koefisien yang Membatasi Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung

Wilayah Gempa	ξ
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

Sumber: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002

3.7. Analisis Respons Dinamik (untuk Struktur Gedung Tidak Beraturan)

Untuk struktur gedung tidak beraturan yang tidak memenuhi ketentuan dalam Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002 Pasal 4.2.1., pengaruh Gempa Rencana terhadap struktur gedung tersebut harus ditentukan melalui analisis respons dinamik 3 dimensi. Untuk mencegah terjadinya respons struktur gedung terhadap pembebanan gempa yang dominan dalam rotasi, dari hasil analisis vibrasi bebas 3 dimensi, paling tidak gerak ragam pertama (fundamental) harus dominan dalam translasi.

Nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana dalam arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal V , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut persamaan berikut:

$$V \geq 0,8 V_1 \quad (3.9)$$

di mana V_1 adalah gaya geser dasar nominal sebagai respons ragam yang pertama terhadap pengaruh Gempa Rencana menurut persamaan:

$$V_1 = \frac{C_1 \cdot I}{R} \cdot W_t \quad (3.10)$$

dengan C_1 adalah nilai Faktor Respons Gempa yang didapat dari Spektrum Respons Gempa Rencana menurut Gambar 3.1 untuk waktu getar alami pertama T_1 , I adalah Faktor Keutamaan menurut Tabel 3.1. dan R adalah faktor reduksi gempa dari struktur gedung, sedangkan W_t adalah berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai.

Perhitungan respons dinamik struktur gedung tidak beraturan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana, dapat dilakukan dengan metode analisis ragam spektrum respons dengan memakai Spektrum Respons Gempa Rencana menurut Gambar 3.1. yang nilai ordinatnya dikalikan faktor koreksi I/R , di mana I adalah Faktor Keutamaan menurut Tabel 3.1. dan R adalah faktor reduksi gempa dari struktur gedung yang bersangkutan. Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan respons ragam menurut metode ini harus sedemikian rupa, sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%.

Penjumlahan respons ragam untuk struktur gedung tidak beraturan yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metode yang dikenal dengan Kombinasi Kudratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination* atau CQC). Waktu getar alami harus dianggap berdekatan, apabila selisih nilainya kurang dari 15%. Untuk struktur gedung tidak beraturan yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respons ragam tersebut dapat dilakukan dengan metode yang dikenal dengan Akar Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares* atau SRSS).

3.8. Analisis Dinamik Non-Linear Riwayat Waktu

Menurut Pasal 7.3.4 dari Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, akselerogram gempa masukan yang ditinjau dalam analisis respons dinamik linear dan non-linear riwayat waktu, harus diambil dari rekaman gerakan tanah akibat gempa yang didapat di suatu lokasi yang mirip kondisi geologi, topografi, dan seismotektoniknya dengan lokasi tempat struktur gedung yang ditinjau berada. Untuk mengurangi ketidakpastian mengenai kondisi lokasi ini, paling sedikit harus ditinjau 4 buah akselerogram dari 4 gempa yang berbeda, salah satunya harus diambil akselerogram Gempa El Centro *North-South* yang telah direkam pada tanggal 18 Mei 1940 di California.

Kemudian, untuk perencanaan struktur gedung melalui analisis dinamik non-linear riwayat waktu terhadap pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan gempa nominal, percepatan muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan ke taraf pembebanan gempa nominal tersebut, sehingga nilai percepatan puncaknya A menjadi:

$$A = \frac{A_o I}{R} \quad (3.11)$$

di mana:

A_o = percepatan puncak tanah menurut Tabel 3.3

R = faktor reduksi gempa representatif dari struktur gedung yang bersangkutan

I = Faktor Keutamaan menurut Tabel 3.1